



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0709650-0 B1

(22) Data do Depósito: 05/03/2007

(45) Data de Concessão: 29/05/2018



(54) Título: MÉTODO PARA CONTROLAR DIREÇÃO DE PERFURAÇÃO, E, FERRAMENTA PARA REALIZAÇÃO DO MÉTODO

(51) Int.Cl.: E21B 7/04

(30) Prioridade Unionista: 21/03/2006 US 11/385,404

(73) Titular(es): HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.

(72) Inventor(es): MICHAEL S. BITTAR; JESSE K. HENSARLING

“MÉTODO PARA CONTROLAR DIREÇÃO DE PERFURAÇÃO, E, FERRAMENTA PARA REALIZAÇÃO DO MÉTODO”

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

Este pedido é uma continuação em parte de Pedido número de série 11/243.131 depositado em 4 de outubro de 2005, intitulado "Ruggedized Multilayer Printed Circuit Board Based Downhole Antenna", que é uma continuação de Pedido número de série 10/254.184 depositado em 25 de setembro de 2002, também intitulado "Ruggedized Multilayer Printed Circuit Board Based Downhole Antenna". Cada um destes pedidos está incorporado por referência aqui como se reproduzidos por completo abaixo.

FUNDAMENTO

Na técnica de perfuração direcional para hidrocarbonetos é benéfico manter o furo de sondagem na zona geológica capaz de produzir os hidrocarbonetos, também conhecida como a "zona útil". A zona útil pode, porém, ser só alguns pés de espessura e ainda vários milhares de pés da superfície. Enquanto a pessoa na função de perfurar pode ter controle direcional da coluna de perfuração, o controle direcional é limitado a no máximo um único grau de mudança direcional. Portanto, correções de curso para manter o furo de sondagem dentro da zona útil podem levar muitas centenas de pés. Qualquer mecanismo que ajuda ao perfurador a entrar na zona útil e/ou manter o furo de sondagem dentro da zona útil seria benéfico.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Para uma descrição detalhada das concretizações preferidas da invenção, referência será feita agora aos desenhos acompanhantes, em que:

Figura 1 ilustra um sistema de perfuração;

Figura 2 ilustra em maior detalhe uma porção da montagem de furo de fundo;

Figura 3 ilustra uma ferramenta de furo abaixo;

Figura 4A ilustra uma vista de perspectiva de uma antena

baseada em PCB; Figura 4B ilustra uma vista de perspectiva de uma antena baseada em PCB;

Figura 5 ilustra uma vista de perspectiva explodida da antena baseada em PCB;

5 Figura 6 ilustra concretizações alternativas de uma ferramenta;
Figura 7A ilustra um padrão de radiação/sensibilidade para uma antena;

Figura 7B ilustra um padrão de radiação/sensibilidade para uma antena;

10 Figura 8 ilustra concretizações alternativas de uma ferramenta;
Figura 9 adicionalmente ilustra as concretizações alternativas da Figura 8;

Figura 10 ilustra uma montagem de tampa; e

Figura 11 ilustra um método.

15 **NOTAÇÃO E NOMENCLATURA**

Certos termos são usados ao longo da descrição seguinte e reivindicações para se referir a componentes de sistema particulares. Este documento não pretende distinguir entre componentes que diferem em nome, mas não função.

20 Na discussão seguinte e nas reivindicações, os termos "incluindo" e "compreendendo" são usados em um modo em aberto, e assim deveriam ser interpretados significar "incluindo, mas não limitado a...". Também, o termo "acoplam" ou "acopla" é pretendido significar tanto uma conexão indireta ou direta. Assim, se um primeiro dispositivo acoplar a um
25 segundo dispositivo, essa conexão pode ser por uma conexão mecânica ou elétrica direta (como o contexto sugere), ou por uma conexão mecânica ou elétrica indireta por outros dispositivos e conexões.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Figura 1 ilustra um sistema de perfuração. Em particular, o

sistema de perfuração inclui um equipamento de perfuração 10 na superfície 12, suportando uma coluna de perfuração 14. Em algumas concretizações, a coluna de perfuração 14 é uma montagem de seções de tubo de broca que são conectadas ponta a ponta por uma plataforma de trabalho 16. Em concretizações alternativas, a coluna de perfuração inclui tubulação espiralada em lugar de tubos de broca individuais. Uma broca de perfuração 18 acopla à extremidade inferior da coluna de perfuração 14, e por operações de perfuração, a broca de perfuração 18 cria um furo de sondagem 20 por formações de terra 22 e 24. A coluna de perfuração 14 tem em sua extremidade inferior uma montagem de furo de fundo (BHA) 26, que inclui a broca de perfuração 18, uma ferramenta de registro 30 construída em seção de colar 32, sensores direcionais localizados em um instrumento não magnético 34, um controlador de furo abaixo 40, um transmissor de telemetria 42, e em algumas concretizações, um motor de furo abaixo 28.

Fluido de perfuração é bombeado de um fosso 36 na superfície pela linha 38, na coluna de perfuração 14 e à broca de perfuração 18. Depois de fluir fora pela face da broca de perfuração 18, o fluido de perfuração se eleva de volta à superfície pela área anular entre a coluna de perfuração 14 e o furo de sondagem 20. Na superfície, o fluido de perfuração é coletado e retornado ao fosso 36 para filtragem. O fluido de perfuração é usado para lubrificar e esfriar a broca de perfuração 18 e remover pedaços cortados do furo de sondagem 20.

O controlador de furo abaixo 40 controla a operação de transmissor de telemetria 42 e coordena a operação de componentes de furo abaixo. O controlador processa dados recebidos da ferramenta de registro 30 e/ou sensores no instrumento 34 e produz sinais codificados para transmissão à superfície pelo transmissor de telemetria 42. Em algumas concretizações, telemetria é na forma de pulsos de lama dentro da coluna de perfuração 14, e quais pulsos de lama são detectados na superfície por um receptor de pulso de

lama 44. Outros sistemas de telemetria podem ser usados equivalentemente.

Figura 2 ilustra em maior detalhe uma porção da montagem de furo de fundo 26 criando um furo de sondagem 20 dentro de formação de terra 24. Para propósitos de explicação, assuma que a formação de terra 24 é a zona útil na qual o perfurador gostaria de manter o furo de sondagem. Como ilustrado na Figura 2, o furo de sondagem 20 está chegando ao limite de leito geológico entre a formação de terra 22 e formação de terra 24. De acordo com concretizações da invenção, a ferramenta 30 ajuda a operação de perfuração tomando leituras de resistividade sensíveis azimutalmente ou direcionalmente da formação próxima ao furo de sondagem. Por uma ou ambas de tomar leituras de resistividade sensíveis direcionalmente com o passar do tempo, e/ou tomar leituras de resistividade sensíveis direcionalmente a múltiplas profundidades de investigação, a ferramenta pode alertar o perfurador controlando a direção de perfuração (ou para isso um sistema automatizado onde correções para direção são feitas por hardware e software de furo abaixo) da proximidade do limite de leito de forma que ação corretiva possa ser tomada.

Determinar a proximidade do limite de leito podem levar muitas formas. Em algumas concretizações, um sistema global que sente direcionalmente resistividade em só uma direção radial (relativa à coluna de perfuração 14) é empregado, e baseado em rotação da coluna de perfuração 14, resistividade sensível azimutalmente cercando o furo de sondagem 20 é determinada. Correlatando as leituras de resistividade com uma indicação de ângulo rotacional (por exemplo, de uma válvula de fluxo, magnetômetro, acelerômetro ou giroscópio), e comparando leituras de resistividade em lados opostos do furo de sondagem (180 graus à parte), a proximidade do limite de leito pode ser determinada. Em concretizações em que múltiplas profundidades radiais são sondadas, a comparação também pode ser entre profundidades radiais comparáveis. Em concretizações alternativas, a

ferramenta 30 tem uma pluralidade de antenas receptoras sensíveis direcionalmente (discutido mais completamente abaixo), tal que leituras de resistividade em lados opostos do furo de sondagem 20 sejam tomadas substancialmente simultaneamente. Estas concretizações são úteis não só quando a coluna de perfuração 14 está girando, mas também em situações onde a coluna de perfuração não está girando (por exemplo, onde um motor de lama de furo abaixo é usado como a força rotacional de acionamento para a broca de perfuração). Correlatando as leituras de lados opostos da ferramenta 30 com uma indicação de ângulo rotacional, e comparando as leituras de resistividade, a proximidade do limite de leito pode ser determinada. Semelhantemente, para as concretizações sentindo resistividade em só uma direção radial como discutido acima, se múltiplas profundidades radiais forem sondadas, as comparações podem ser das múltiplas profundidades radiais.

Indiferente da concretização física da ferramenta 30, comparações podem ser feitas tomando relações de leituras de resistividade em lados opostos da ferramenta, ou tomando diferenças das leituras de resistividade em lados opostos da ferramenta. Em concretizações ainda adicionais, onde múltiplas profundidades radiais são sondadas, comparações a leituras em lados opostos da ferramenta podem não ser precisadas, e ao invés a comparação poderia ser entre profundidades radiais diferentes no mesmo lado da ferramenta.

Figura 3 mostra a ferramenta 30 de acordo com algumas concretizações da invenção. Componentes elétricos da ferramenta 30, enquanto dispostos dentro da ferramenta 30 ou dentro de porções da montagem de furo de fundo 26 próximo à ferramenta 30, são mostrados ao lado da ferramenta para clareza da figura. Em particular, a ferramenta 30 de acordo com estas concretizações inclui uma antena transmissora 300 disposta em uma superfície exterior da ferramenta 30, onde a antena transmissora circunscreve o corpo de ferramenta 302. Uma antena transmissora

circunscrevendo o corpo de ferramenta 302 da maneira ilustrada na Figura 3 produz uma onda eletromagnética onidirecional. Onidirecional nesta especificação, e nas reivindicações, significa que a onda eletromagnética produzida se propaga longe do corpo de ferramenta 302 em substancialmente
5 todas as direções radiais igualmente, e abrange situações onde um eixo da antena 300 e o eixo do corpo de ferramenta 302 não são paralelos. Declarado de outra maneira, o padrão de radiação para antena 300 se estende para fora substancialmente em todas as direções radiais.

Ferramenta 30 adicionalmente inclui uma ou mais antenas receptoras 306 configuradas para serem sensíveis direcionalmente, com as
10 antenas receptoras 306 a uma primeira elevação axial que é espaçada à parte da elevação axial da antena transmissora 300. Concretizações específicas de antenas receptoras são discutidas abaixo. Figura 3 mostra três antenas receptoras 306 (com uma quarta assumida, mas não visível). Tão poucas
15 quanto uma antena receptora 306 pode ser usada, e em algumas concretizações, oito antenas receptoras são usadas, com o número máximo de antenas receptoras 306 constrangido só por considerações de espaço no corpo de ferramenta 302. Ferramenta 30 adicionalmente inclui um segundo conjunto de antenas receptoras 308 também configuradas para serem sensíveis
20 direcionalmente, com as antenas receptoras 308 a uma segunda elevação axial que é espaçada à parte da elevação axial da antena transmissora 300. Figura 3 mostra três antenas receptoras 308 (com uma quarta assumida, mas não visível). Aqui também tão poucas quanto uma antena receptora 308 pode ser usada, e em algumas concretizações oito antenas receptoras são usadas, o
25 número máximo de antenas receptoras 308 constrangido só por considerações de espaço no corpo de ferramenta 302.

De acordo com as concretizações ilustradas na Figura 3, a antena transmissora emite uma onda eletromagnética onidirecional que se propaga na formação cercando o furo de sondagem, qual onda

eletromagnética pode ser chamada uma onda eletromagnética de interrogação. A onda eletromagnética de interrogação tanto se propaga a cada receptor, e/ou induz outra onda eletromagnética que se propaga a cada receptor, com as ondas eletromagnéticas nos receptores chamadas ondas eletromagnéticas
5 responsivas. A diferença em amplitude entre ondas eletromagnéticas responsivas recebidas na mesma posição radial, mas receptores a elevações axiais diferentes, e/ou a diferença de fase entre as ondas eletromagnéticas responsivas nos receptores é indicativa da resistividade (inverso de condutividade) a uma profundidade radial particular de investigação. A
10 profundidade radial de investigação é uma função do espaçamento axial entre a antena transmissora e os receptores, como também da frequência das ondas eletromagnéticas interrogantes.

Ainda se referindo à Figura 3, a fim de gerar a onda eletromagnética de interrogação, a eletrônica da ferramenta 30 pode incluir
15 um oscilador 310 que acopla à antena transmissora 300 por meio de um amplificador 312. Em concretizações onde a onda eletromagnética de interrogação tem múltiplas frequências, um ou mais osciladores adicionais podem estar presentes (ilustrados por oscilador 314), que acoplam à antena transmissora 300 por meio de um misturador 316 e o amplificador 312. A
20 temporização de gerar os sinais que se tornam a onda eletromagnética de interrogação, se esses sinais contiverem substancialmente uma única frequência ou múltiplas frequências, é controlada por um processador 304. O processador 304 pode estar localizado dentro do corpo de ferramenta 302, ou dentro de alguma outra porção da montagem furo de fundo 26, tal como o
25 controlador de furo abaixo 40 (Figura 1). Os osciladores 310, 314 e misturador 316 podem ser construídos de componentes de circuito individuais (por exemplo, osciladores a cristal, resistores, capacitores, diodos), ou a função dos componentes dentro de caixa 318 pode ser implementada por processamento de sinal digital, tal como software executado pelo processador

304 ou um sistema de processamento de sinal digital dedicado.

Ondas eletromagnéticas responsivas recebidas por receptor 306C geram um sinal responsivo que acopla a amplificador 320, e adicionalmente acopla a sistemas de detecção 324 e 326. Enquanto dois 5 circuitos de detecção são mostrados, qualquer número pode ser usado. Cada um dos receptores pode ter seu próprio amplificador e circuito de detecção, mas componentes duplicados são omitidos assim para não complicar indevidamente a figura. Em algumas concretizações, os circuitos de detecção 324 e 326 podem ser construídos de componentes de circuito individuais, e 10 em concretizações alternativas, sinais responsivos produzidos pelas antenas receptoras podem ser digitalizados e analisados por meio de processamento de sinal digital. Semelhantemente para a eletrônica associada com receptores 308 ilustrativos, múltiplos circuitos de detecção podem existir um cada para cada receptor, ou a detecção pode ser feita por meio de técnicas de processamento 15 de sinal digital.

Ainda se referindo à Figura 3, o processador 304 junta dados dos receptores, e pode correlatar os dados dos receptores com um sinal de um indicador de ângulo rotacional 328, se presente. Em algumas concretizações, o indicador de ângulo rotacional 328 está localizado dentro do corpo de 20 ferramenta 302, e em concretizações alternativas, o indicador de ângulo rotacional 328 está localizado em outra porção da montagem de furo de fundo 26, tal como o instrumento 34 ou controlador de furo abaixo 40. Usando os vários pedaços de dados, o processador 304 produz um sinal de saída 330 indicativo da proximidade do limite de leito. Em algumas concretizações, o 25 sinal de saída 330 indicativo da proximidade do limite de leito podem ser os dados brutos dos receptores empacotados pelo processador e enviados à superfície que usa qualquer forma disponível de telemetria. Na superfície, análise adicional pode ser empreendida, e se precisado, ação corretiva à direção de perfuração tomada. Em concretizações alternativas, o processador

304 pode executar as ações de calcular resistividades, comparar as várias resistividades, e produzir o sinal de saída 330 indicativo da proximidade do limite de leito (por exemplo, distância ao limite de leito, distância estimada a limite de leito na trajetória atual, e ângulo de imersão do furo de sondagem relativo ao limite de leito). Em concretizações onde o sinal de saída 330 indica mais diretamente a proximidade do limite de leito, a sinal de saída 330 pode ser enviado à superfície e ação corretiva tomada, ou o sinal de saída 330 pode acoplar a um dispositivo de furo abaixo, tal como o controlador de furo abaixo 40, que muda automaticamente a direção de perfuração para manter o furo de sondagem dentro da zona útil.

Retornando agora à implementação da sensibilidade direcional das antenas receptoras 306 e 308, Figura 4A mostra uma vista de perspectiva de uma antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso (PCB) que pode ser usada como uma antena receptora de acordo com concretizações da invenção. Em particular, a antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB inclui uma placa superior 400 e uma placa inferior 402. A placa superior 400 inclui uma pluralidade de trilhas elétricas 404 que atravessam a placa 400 substancialmente paralelas a sua largura ou dimensão curta. Nas concretizações mostradas na Figura 4A, dez tais trilhas 404 são mostradas; porém, qualquer número de trilhas pode ser usado dependendo do número de espiras desejadas para a antena. Ao término de cada trilha 404 está um furo de contato, por exemplo furos 406A e 406B, que se estendem pela placa superior 404. Como será discutido mais completamente abaixo, contato elétrico entre a placa superior 400 e a placa inferior 402 acontece preferivelmente pelos furos de contato ao término das trilhas.

Figura 4B mostra uma vista de perspectiva da antena da Figura 4A com a placa 402 em uma orientação superior. Semelhante à placa 400, a placa 402 inclui uma pluralidade de trilhas 408, com cada trilha tendo a suas

extremidades um furo de contato, por exemplo furos 410A e 410B. Diferente de placa 400, porém, as trilhas 408 na placa 402 estão a um ângulo leve. Assim, nestas concretizações, a placa 402 executa uma função de passagem tal que a corrente elétrica viajando em uma das trilhas 404 na placa 400 cruze
5 através da trilha elétrica 408 de placa 402, assim forçando a corrente a fluir na próxima malha do circuito global.

Se referindo um pouco simultaneamente às Figuras 4A e 4B, entre a placa 400 e placa 402 residem uma pluralidade de placas intermediárias 412. A função primária de uma placa intermediária 412 é
10 conter o material de ferrita entre a placa 400 e placa 402, como também prover caminhos de condução para as várias espiras de trilhas elétricas ao redor do material de ferrita. Nas vistas de perspectiva das Figuras 4A e 4B, a placa 402 é comprida com respeito à placa 400, e assim tem uma seção comprida 414. Nestas concretizações, a seção comprida 414 de placa 402 tem uma
15 pluralidade de contatos elétricos, isto é, pontos de contato 416 e 418. Os pontos de contato 416 e 418 são o local onde contato elétrico é feito na antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB. Assim, estes são os locais onde acoplamento elétrico é feito com os circuitos de detecção (Figura 3).

Figura 5 mostra uma vista de perspectiva explodida da antena
20 de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB. Em particular, Figura 5 mostra a placa 400 e placa 402, com os vários componentes acoplados entre as duas placas em vista explodida. Figura 5 mostra três placas intermediárias 412A, B e C, e embora qualquer número possa ser usado baseado na espessura das placas, a quantidade de material de
25 ferrita a ser contido nelas, e se for desejável vedar completamente a ferrita dentro das placas. Cada uma das placas intermediárias 412 inclui um furo central 500, e uma pluralidade de furos de interconexão 502. Como as placas intermediárias 412 são empilhadas, seus furos centrais formam uma cavidade interna onde uma pluralidade de elementos de ferrita 504 são colocados. A

placa intermediária 412 e o material de ferrita 504 são intercalados entre a placa 400 e a placa 402. Em algumas concretizações, contato elétrico entre as trilhas 404 de placa 400 e as trilhas 408 de placa 402 (não mostrada na Figura 5) é feito por uma pluralidade de fios ou pinos de contato 506 e 508. Os pinos de contato 506, 508 se estendem pelos furos de contato 406 na placa superior, os furos 502 nas placas intermediárias, e os furos 410 em placa 402. O comprimento dos pinos de contato é ditado pela espessura global da antena baseada em PCB, e contato elétrico entre os pinos de contato e as trilhas é feito soldando cada pino à trilha 404 e 408 que cercam o furo de contato pelo qual o pino se estende. Em outras concretizações, em lugar de usar os pinos de contato 506 e 508, a antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB é fabricada de tal modo que solda ou outro material eletricamente condutivo se estenda entre a placa 400 e a placa 402 pelos furos de conexão para fazer o contato elétrico. Assim, o material eletricamente condutivo, se solda, pinos de contato, ou outro material, acopla eletricamente as trilhas nas placas 400 e 402, por esse meio criando uma pluralidade de espiras de caminho eletricamente condutivo ao redor do núcleo de ferrita.

Os materiais usados para construir a placa 400, placa 402, ou qualquer das placas intermediárias 412 podem levar várias formas dependendo do ambiente no qual a antena baseada em PCB é usada. Em ambientes severos, onde gamas de temperatura são esperadas excederem 200° C, as placas 400, 402 e 412 são feitas de um material cerâmico reforçado com vidro, e tal material pode ser obtido de Rogers Corporation de Rogers, Connecticut (por exemplo material tendo número de peça R04003). Em aplicações onde a gama de temperatura esperada é menos que 200°C, as placas 400, 402 e 412 podem ser feitas de material de poliamida reforçada com vidro (se conformando a IPC-4101, tipo GIL) disponível de fontes como Arlon, Inc. de Bear, Delaware, ou Applied Signal, Inc. Adicionalmente, em algumas concretizações, o material de ferrita na cavidade central ou interna

criada pelas placas intermediárias 412 é um material de alta permeabilidade, preferivelmente Material 77 disponível de Elna Magnetics de Woodstock, Nova Iorque. Como sugerido na Figura 5, o núcleo de ferrita 504 é uma pluralidade de material do tipo de barra empilhado; porém, o núcleo de ferrita
5 pode ser equivalentemente um único pedaço de material de ferrita, e também pode incluir um agrupamento denso de aparas de ferrita, ou similar.

Adicionalmente, Figura 5 mostra como os contatos 416 e 418 acoplam eletricamente às trilhas 404 e 410. Em particular, nas concretizações mostradas na Figura 5, o contato elétrico 416 se estende ao longo da dimensão
10 longa de placa 402, e cerca um furo de contato na extremidade distante. Se os pinos de conexão 506, 508 forem usados, ou se outras técnicas para conectar trilhas em níveis múltiplos de placa de circuito forem usadas, preferivelmente a trilha 416 acopla eletricamente ao enrolamento criado pelas trilhas 404, trilhas 408 e interconexões entre as trilhas. Igualmente, o bloco de conexão
15 418 acopla eletricamente a uma trilha que cerca um furo de contato mais perto no lado oposto da conexão feita para bloco 416. Por técnicas já discutidas, o ponto de contato 418 é acoplado eletricamente aos enrolamentos da antena. Embora não mostrado especificamente na Figura 5, o núcleo de ferrita 504 está isolado eletricamente das trilhas. Este isolamento pode levar a forma de
20 uma folha isolante, ou alternativamente as trilhas poderiam estar dentro da própria placa não condutiva 402.

Antes de prosseguir, deve ser entendido que as concretizações mostradas nas Figuras 4 e 5 são meramente exemplares da idéia de usar trilhas sobre uma placa de circuito impresso, como também conexões elétricas
25 entre várias camadas de placa, para formar os enrolamentos ou espiras de caminho de condução elétrica ao redor de um núcleo de ferrita contido no lugar pelas PCBs. Em algumas concretizações, o núcleo de ferrita é vedado dentro da cavidade interna criada pelas placas intermediárias tendo essas placas intermediárias selo uma a outra. Porém, dependendo do tipo de

material de ferrita usado, ou o uso proposto da antena (ou ambos), não seria necessário que a placa intermediária sele uma a outra. Ao invés, os pinos de conexão 506 e 508 poderiam suspender uma ou mais placas intermediárias entre as placas 400, 402 tendo as trilhas elétricas, assim mantendo o material de ferrita dentro da cavidade definida pelas placas intermediárias, e também mantendo o material de ferrita de entrar em contato elétrico com os pinos de conexão. Adicionalmente, as concretizações das Figuras 4 e 5 têm porção estendida 414 de placa 402 para prover um local para o acoplamento elétrico de fios de sinal. Porém, esta porção estendida 414 não precisa estar presente, e ao invés os fios para acoplar eletricamente a antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB poderiam soldar diretamente a locais apropriados na antena. Adicionalmente ainda, dependendo da aplicação particular, a própria antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB também pode ser encapsulada em um material protetor, tal como epóxi, a fim que o material de placa não seja exposto ao ambiente de operação. Adicionalmente ainda, técnicas existem a partir da escrita desta especificação para embutir trilhas elétricas dentro de uma placa de circuito impresso tal que elas não sejam expostas, diferente de seus contatos elétricos, nas superfícies da placa de circuito impresso, e esta tecnologia também poderia ser utilizada ao criar a placa 400 e placa 402. Além disso, concretizações da antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB tal como aquela mostrada nas Figuras 4 e 5 podem ter uma dimensão longa de aproximadamente 8 centímetros, uma largura de aproximadamente 1,5 centímetros e uma altura de aproximadamente 1,5 centímetros. Uma antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB tal como aquela mostrada nas Figuras 4 e 5 com estas dimensões pode ser adequada para medições de resistividade de formação sensíveis direcionalmente ou azimutalmente. Em situações onde visualização de furo de sondagem é desejada, o tamanho global pode ficar menor, mas uma

tal construção não parte da extensão e espírito desta invenção.

Figura 6 mostra concretizações alternativas da invenção. Em particular, Figura 6 mostra concretizações onde, em lugar de usar uma antena de volta como a antena de fonte, uma pluralidade de antenas de núcleo de ferrita baseado em placa de circuito impresso PCB são elas mesmas usadas para gerar as ondas eletromagnéticas interrogantes. Em particular, Figura 6 mostra uma ferramenta 30 disposta dentro de um furo de sondagem 20. Nestas concretizações, as ondas eletromagnéticas interrogantes são geradas por uma pluralidade de antenas de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB 600, cuja construção é discutida acima. Embora o desenho exemplar da Figura 6 mostre só três tais antenas 600A, 600B e 600C, qualquer número de antenas pode ser espaçado ao redor da circunferência da ferramenta, e é preferido que oito tais antenas sejam usadas. Semelhante às concretizações mostradas na Figura 2, as concretizações da Figura 6 incluem uma primeira e segunda pluralidade de antenas receptoras 306 e 308, que em algumas concretizações são cada uma antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB como discutido acima. Na vista de perspectiva da Figura 6, só três tais antenas receptoras 306A, 306B e 306C são visíveis para a primeira pluralidade, e só três antenas receptoras 308A, 308B e 308C são visíveis para a segunda pluralidade; porém, qualquer número de antenas pode ser usado, e em algumas concretizações, oito tais antenas são usadas a cada uma da primeira e segunda pluralidades. Operação da ferramenta 30 da Figura 6 pode incluir transmitir ondas eletromagnéticas com todas as antenas transmissoras 600 simultaneamente, ou pode incluir alternativamente excitar cada uma das antenas transmissoras 600 sequencialmente.

Em um modo semelhante àquele descrito com respeito à Figura 2, receber as ondas eletromagnéticas responsivas é realizado com cada antena receptora individual 306 e 308. Em virtude do espaçamento radial ou circunferencial sobre a ferramenta 30 e que as antenas receptoras 306 e 308 está

cada uma colocada dentro de cavidade, inserto ou bolso 310, as ondas eletromagnéticas responsivas são recebidas de direções sensíveis azimutalmente.

Para propósitos de explicação de sensibilidade radial ou azimutal, Figura 6 define um sistema de coordenada com o eixo Z correspondendo ao eixo da ferramenta 30, e o eixo X e Y formando um plano, com o eixo Z normal ao plano. Este sistema de coordenadas segue a ferramenta 30, tal que se a ferramenta 30 estiver na orientação substancialmente horizontal da Figura 2, o eixo de Z ainda se alinhe com o eixo de ferramenta 30. Figura 7A mostra uma vista de ferramenta 30 olhando ao longo do eixo Z. A área sombreada é ilustrativa do padrão de sensibilidade para uma antena receptora (por exemplo, uma antena baseada em PCB) dentro de um bolso da ferramenta. Por causa da orientação, o padrão de sensibilidade tem um lóbulo único 700. Igualmente, Figura 7B mostra uma vista de ferramenta 30 olhando ao longo do eixo Y. A área sombreada na Figura 7B é ilustrativa do padrão de sensibilidade para uma antena dentro de um bolso da ferramenta. Novamente, por causa da orientação dentro do bolso, o padrão de sensibilidade tem lóbulo único 700. Em concretizações tais como aquelas da Figura 6 onde as antenas transmissoras são semelhantes às antenas receptoras, os padrões de sensibilidade das Figuras 7A e 7B também são ilustrativos do padrão de radiação das antenas transmissoras, e assim estas antenas transmissoras têm substancialmente um único padrão de radiação de lóbulo. Pode haver lóbulos laterais secundários ao padrão de sensibilidade/radiação por causa de reflexão dentro do bolso e interferência causada pelas reflexões, mas estes lóbulos laterais serão 10 dB menos que o lóbulo principal. Assim, para propósitos desta especificação e reivindicações, qualquer padrão de sensibilidade/radiação tendo um lóbulo principal e lóbulos laterais 10 dB ou menos que o lóbulo principal é considerado ser sistemas de lóbulo único.

Figura 8 ainda mostra outras concretizações de uma ferramenta de resistividade de onda eletromagnética usando as antenas de

núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB como descrito acima. Em particular, Figura 8 mostra a ferramenta 30 disposta dentro de furo de sondagem 20. Nas concretizações mostradas na Figura 8, a ferramenta 30 inclui uma ou mais aletas estabilizadoras 800A e 800B. Nestas concretizações, as antenas de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB são colocadas preferivelmente dentro de insertos ou bolsos da aleta estabilizadora 800 próximo a sua superfície exterior. Em particular, a ferramenta pode incluir uma antena de fonte 802 e uma antena receptora 804 dispostas dentro da aleta estabilizadora 800A. Operação de uma ferramenta tal como a ferramenta 30 é semelhante às concretizações prévias visto que a antena de fonte 802 gera uma onda eletromagnética de interrogação, e uma onda eletromagnética responsiva é recebida pela antena receptora 808. Em virtude do local da antena receptora em um lado particular de uma ferramenta 30, a onda eletromagnética responsiva é recebida em direções sensíveis azimutalmente.

Figura 9 adicionalmente ilustra que as antenas, neste exemplo as antenas 802 e 804, podem ser montadas dentro de um rebaixo, inserto ou bolso 809 em uma lâmina da ferramenta. Com respeito às Figuras 2 e 6, os bolsos 310 estão no próprio corpo de ferramenta 302. Com respeito à Figura 8, os bolsos estão na aleta estabilizadora 800A. Embora as antenas de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso, se operadas em espaço livre, seriam onidirecionais, por causa do seu tamanho pequeno relativo ao corpo de ferramenta, e o fato que elas estão montadas dentro de bolsos, elas se tornam sensíveis direcionalmente como discutido acima. Sensibilidade direcional adicional pode ser realizada por meio de um arranjo de tampa.

Figura 10 mostra um arranjo de tampa exemplar para cobrir as antenas de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB para alcançar maior diretividade. Em particular, tampa 1000 inclui uma superfície interna oca 1002, tendo volume suficiente para cobrir uma antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB. Em uma superfície

dianteira da tampa 1000 há uma abertura 1004. Operação da tampa 1000 em quaisquer das concretizações envolve colocar a tampa 1000 sobre a antena (receptora ou transmissora) dentro da cavidade 112 cobrindo a antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB, e a abertura 5 1004 exposta a uma superfície exterior da ferramenta. Como para recepção, radiação de onda eletromagnética responsiva, especificamente os componentes de campo magnéticos, acessam e então induzem um fluxo de corrente na antena de núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso PCB dentro da tampa pela abertura 1004. Quanto menor a abertura ao longo 10 de sua distância curta, maior a sensibilidade direcional se torna.

Figura 11 ilustra um método de acordo com concretizações da invenção. Em particular, o método começa (bloco 1100) e prossegue para transmitir uma onda eletromagnética de interrogação da ferramenta dentro de uma coluna de perfuração (bloco 1100). A transmissão é a uma primeira 15 elevação axial, e a onda eletromagnética de interrogação se propaga na formação cercando o furo de sondagem. A seguir, uma onda eletromagnética de resposta é recebida (bloco 1108), em algumas concretizações por uma primeira antena receptora configurada para ter um padrão de radiação de lóbulo único. Dos sinais recebidos, uma determinação é feita sobre a 20 proximidade da ferramenta ao limite de leito (bloco 1112). Finalmente, a direção de perfuração é controlada baseada na proximidade da ferramenta ao limite de leito (bloco 1116), e o processo termina (bloco 1120).

A discussão anterior é significada ser ilustrativa dos princípios e várias concretizações da presente invenção. Numerosas variações e 25 modificações se tornarão aparentes àqueles qualificados na técnica uma vez que a exposição anterior seja apreciada completamente. É planejado que as reivindicações seguintes sejam interpretadas para abranger todas as tais variações e modificações.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar direção de perfuração que inclui:

transmitir (1100) uma onda eletromagnética de interrogação de uma ferramenta (30) em um furo de sondagem (20) em uma formação (22, 24) cercado o furo de sondagem (20);

receber (1108) uma primeira onda eletromagnética responsiva da formação (22, 24) por uma primeira antena receptora (306) tendo um padrão de sensibilidade com um lóbulo primário único (700);

determinar (1112) pelo menos uma de direção ou proximidade de um limite de leito usando a primeira onda eletromagnética responsiva; e

controlar direção de perfuração (1120) baseado no sinal recebido pela primeira antena receptora (306),

caracterizado pelo fato de que a transmissão (1100) é executada a uma primeira posição axial, e em que receber a segunda onda eletromagnética responsiva adicionalmente inclui receber a segunda onda eletromagnética responsiva a aproximadamente a mesma elevação axial como a recepção (1108) da primeira onda eletromagnética responsiva, mas a uma posição radial diferente na ferramenta (30).

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que transmitir (1100) adicionalmente inclui transmitir uma onda eletromagnética de interrogação onidirecional.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que transmitir (1100) adicionalmente inclui transmitir de uma antena que circunscreve a ferramenta (30).

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que transmitir (1100) adicionalmente inclui transmitir a onda eletromagnética de interrogação que tem um padrão de radiação com um lóbulo primário único (700).

5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo

fato de que transmitir (1100) adicionalmente inclui transmitir com uma antena transmissora (300) dentro de um inserto (310) da ferramenta (30).

5 6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que transmitir (1100) adicionalmente inclui transmitir pela antena transmissora (300) dentro do inserto (310) em um estabilizador da ferramenta (30).

7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber (1108) adicionalmente inclui receber na primeira antena receptora (306) dentro de um inserto (310) da ferramenta (30).

10 8. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que receber (1108) adicionalmente inclui receber na primeira antena receptora (306) dentro do inserto (310) em um estabilizador da ferramenta (30).

15 9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que adicionalmente inclui:

receber uma segunda onda eletromagnética responsiva da formação (22, 24) por uma segunda antena receptora (308) configurada para ter um padrão de sensibilidade com um lóbulo primário único (700); e

20 em que determinar adicionalmente inclui determinar proximidade ao limite de leito usando uma ou ambas da primeira e segunda ondas eletromagnéticas responsivas.

25 10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que transmitir (1100) a onda eletromagnética de interrogação adicionalmente inclui transmitir simultaneamente uma onda eletromagnética de interrogação tendo uma primeira frequência, e uma onda eletromagnética de interrogação tendo uma segunda frequência.

11. Ferramenta (30) para realização do método definido na reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que inclui:

uma antena transmissora (300) disposta sobre uma superfície

exterior da ferramenta (30) que transmite uma onda eletromagnética de interrogação em uma formação (22, 24) cercando a ferramenta (30);

uma primeira antena receptora (306) configurada para ter um padrão de sensibilidade com um lóbulo primário único (700), a primeira
5 antena receptora (306) disposta na superfície exterior da ferramenta (30), a primeira antena receptora (306) recebe uma primeira onda eletromagnética responsiva da formação (22, 24) e produz um primeiro sinal responsivo; e

um processador (304) acoplado à antena receptora (306), e em que o processador (304) gera, baseado pelo menos em parte no primeiro sinal
10 responsivo, um sinal de saída que indica proximidade da ferramenta (30) a um limite de leito.

12. Ferramenta (30) de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que adicionalmente inclui:

um indicador de ângulo rotacional (328) acoplado ao
15 processador (304), o indicador de ângulo rotacional (328) produz um sinal de ângulo que indica o ângulo rotacional da ferramenta (30);

em que o processador (304) correlata o sinal de ângulo e o primeiro sinal responsivo para gerar o sinal de saída.

13. Ferramenta (30) de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de que o indicador de ângulo rotacional (328) inclui
20 um ou mais selecionado do grupo: uma válvula de fluxo, um magnetômetro, um acelerômetro e um giroscópio.

14. Ferramenta (30) de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que a antena transmissora (300) circunscreve a
25 ferramenta (30) e produz um padrão de radiação onidirecional.

15. Ferramenta (30) de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que a antena transmissora (300) está disposta dentro de uma cavidade (310) em uma superfície exterior da ferramenta (30), e em que o padrão de radiação de antena transmissora tem um lóbulo primário

único (700).

16. Ferramenta (30) de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de que a antena transmissora (300) está disposta sobre uma lâmina de estabilizador da ferramenta (30).

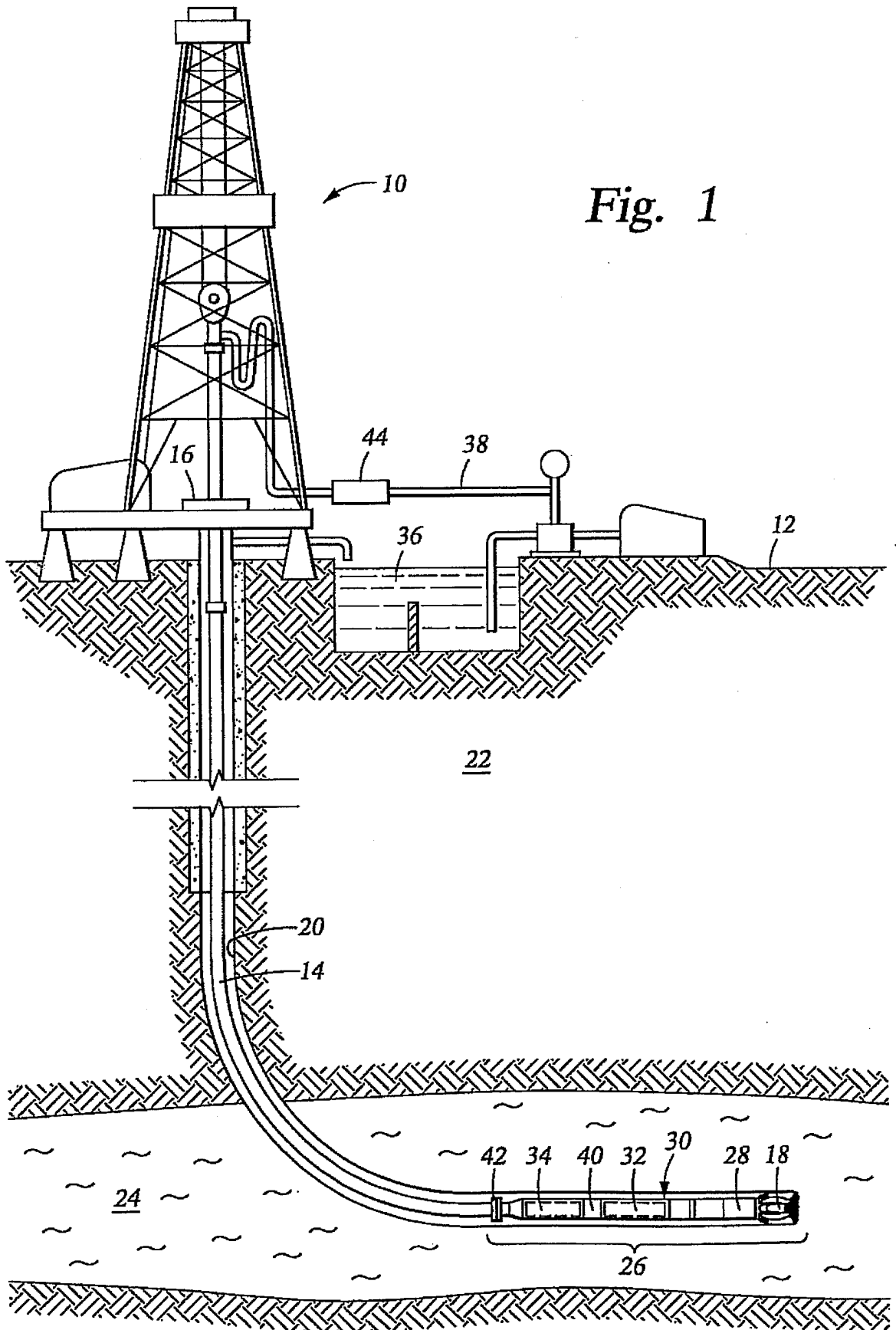
5 17. Ferramenta (30) de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que a antena transmissora (300) transmite simultaneamente uma onda eletromagnética de interrogação tendo uma primeira frequência, e uma onda eletromagnética de interrogação tendo uma segunda frequência.

10 18. Ferramenta (30) de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que adicionalmente inclui:

uma segunda antena receptora (308) configurada para ter padrão de sensibilidade com um lóbulo primário único (700), a segunda antena receptora (308) disposta na superfície exterior da ferramenta (30) a
15 aproximadamente a mesma elevação axial como a primeira antena receptora (306), mas a uma orientação radial diferente, em que a segunda antena receptora (308) recebe uma segunda onda eletromagnética responsiva da formação (22, 24) e produz um segundo sinal responsivo;

em que o processador (304) gera, pelo menos em parte no
20 primeiro e segundo sinais responsivos, um sinal de saída que indica proximidade da ferramenta (30) a um limite de leito.

Fig. 1



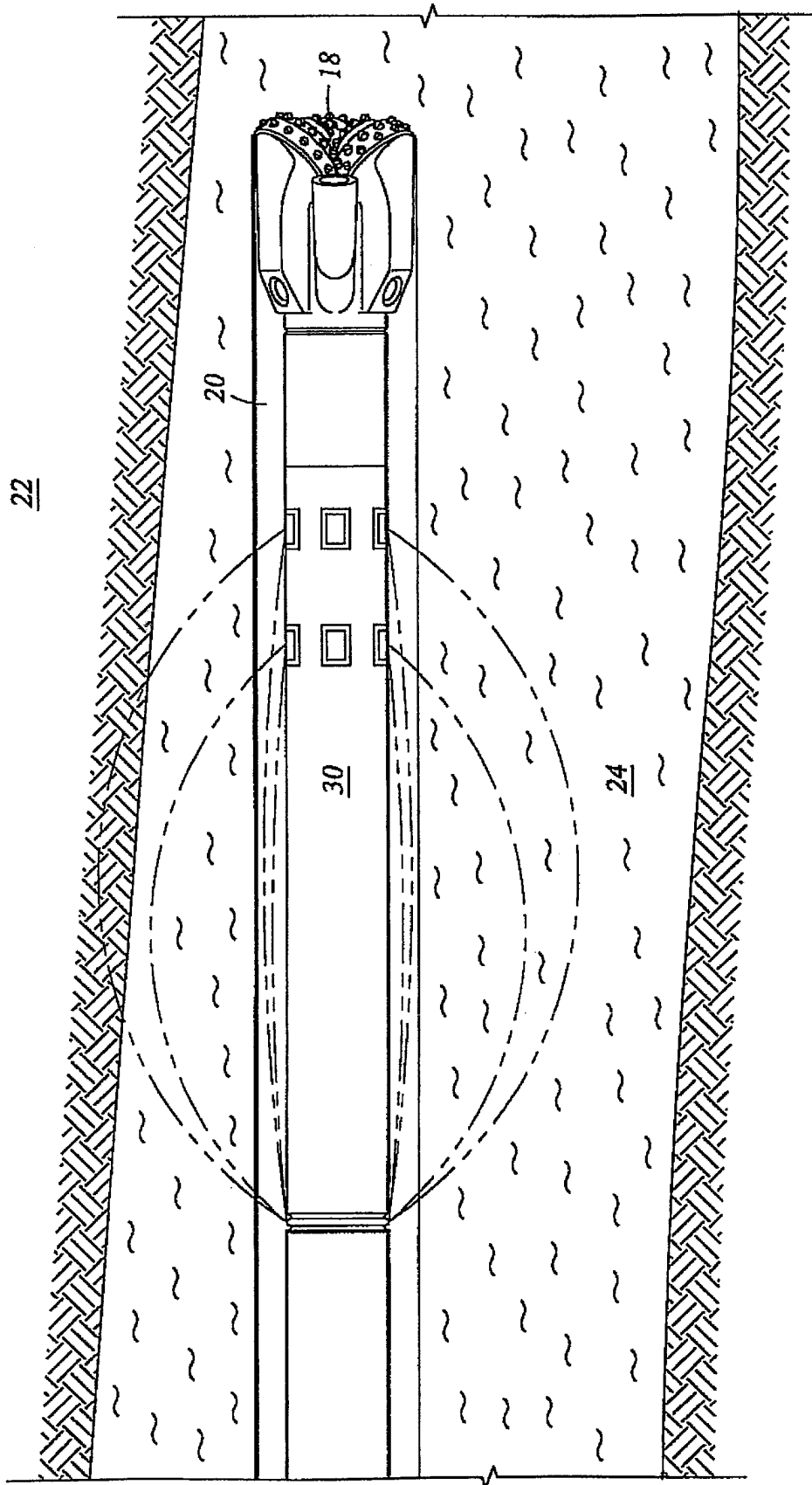


Fig. 2

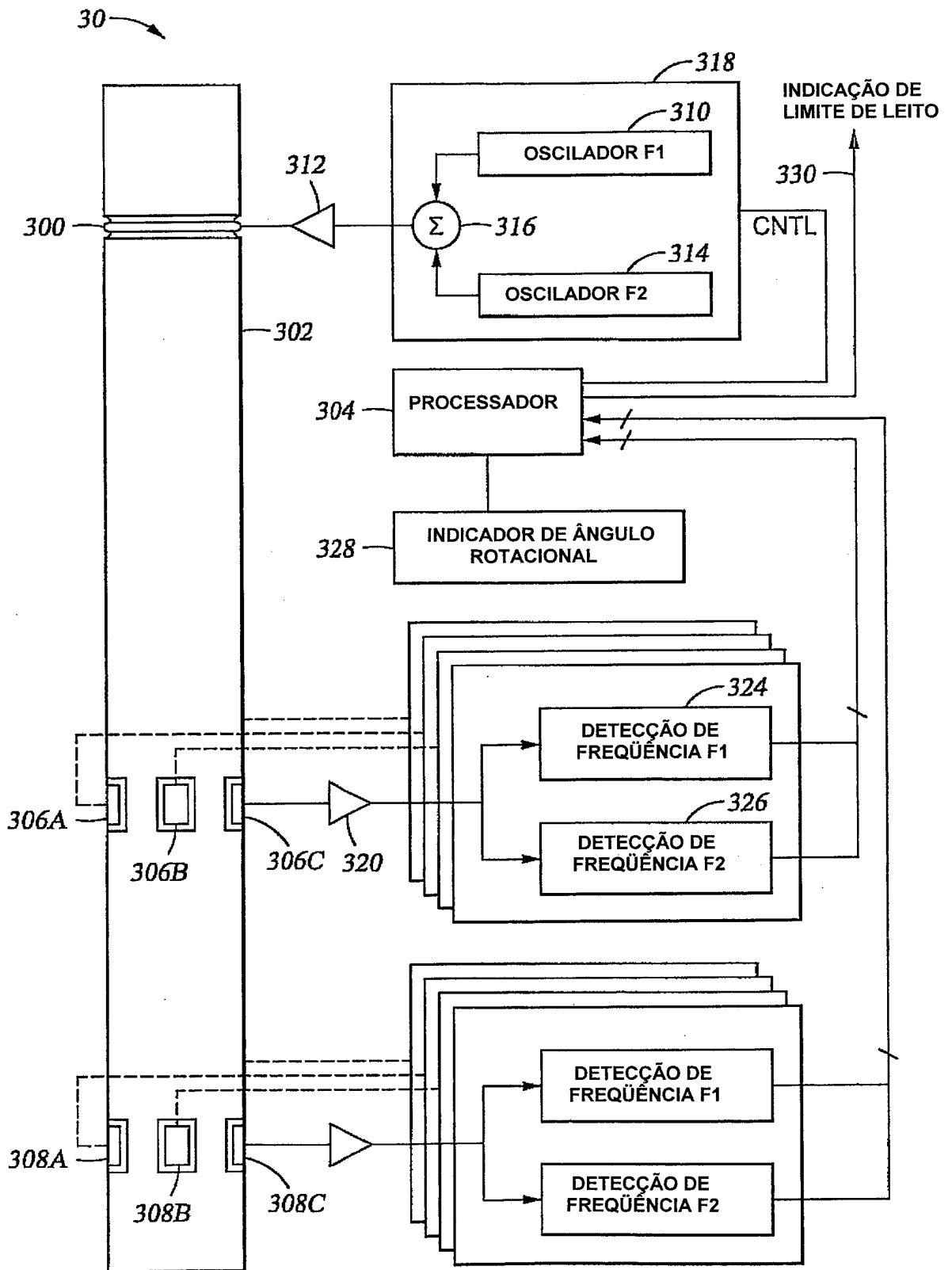


Fig. 3

Fig. 4A

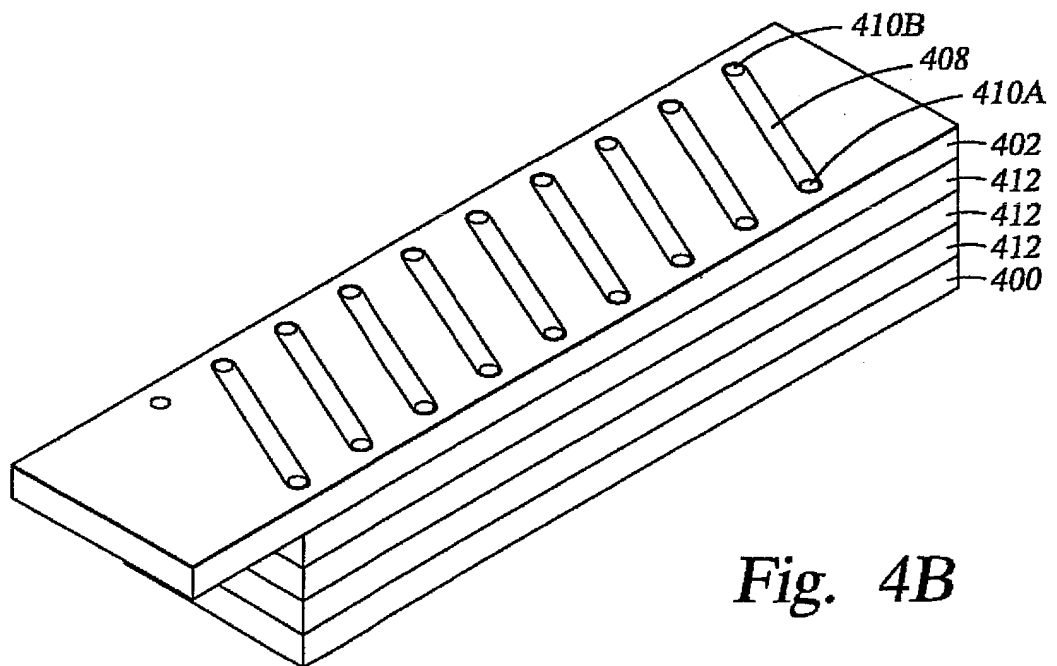
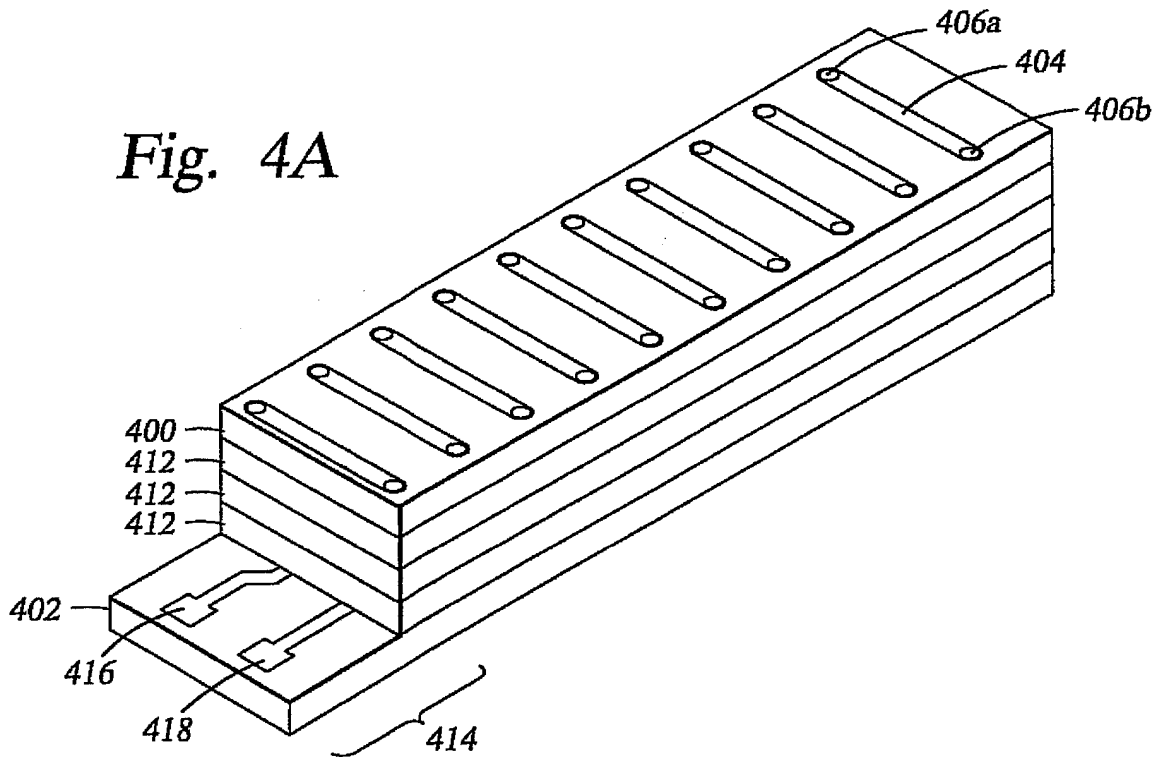


Fig. 4B

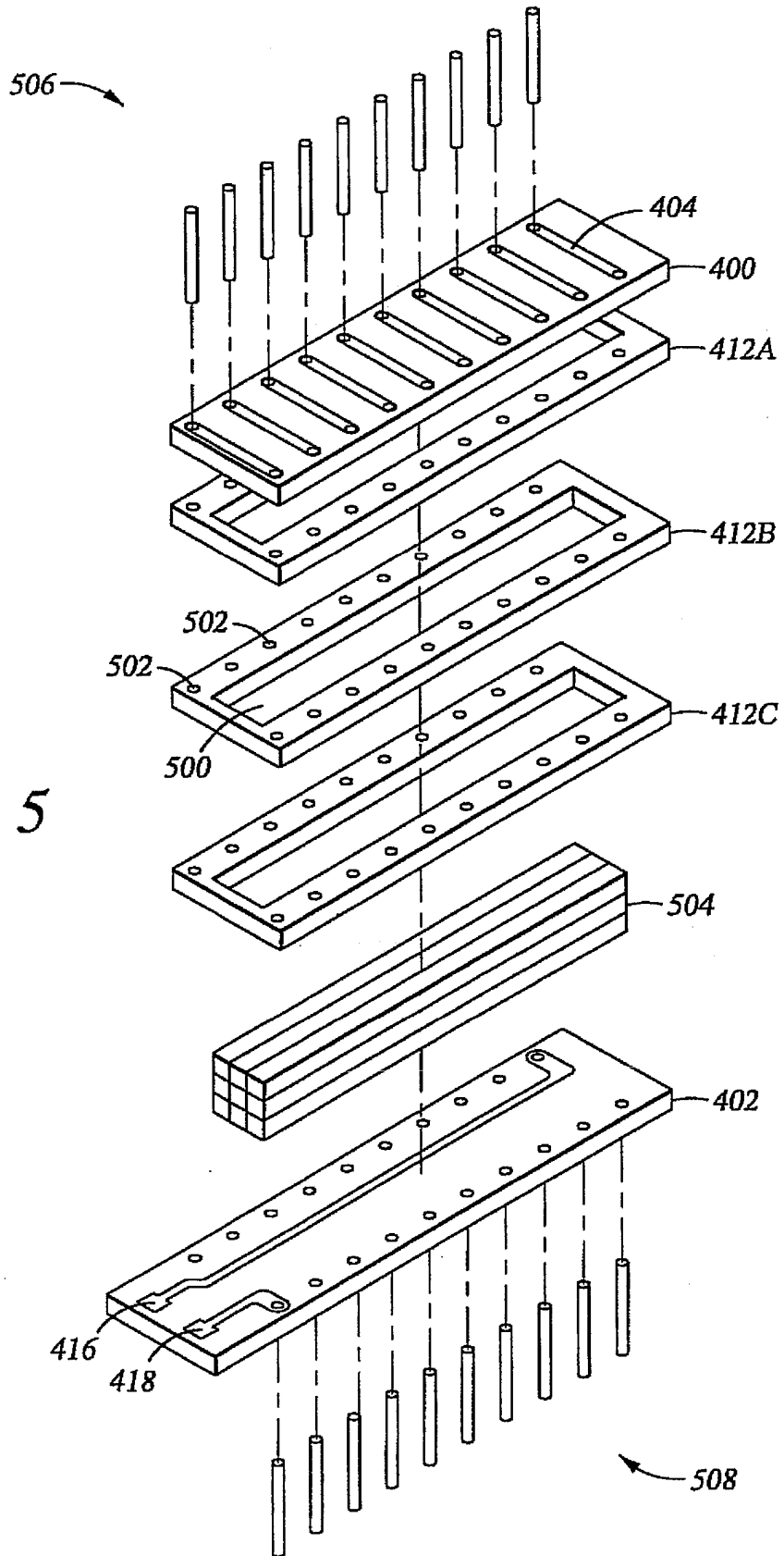
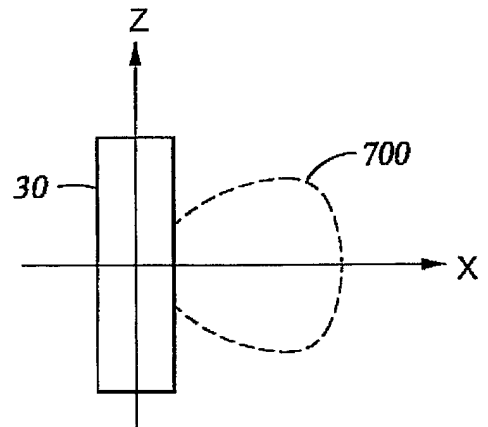
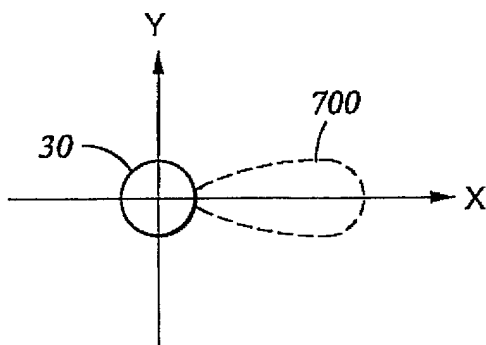
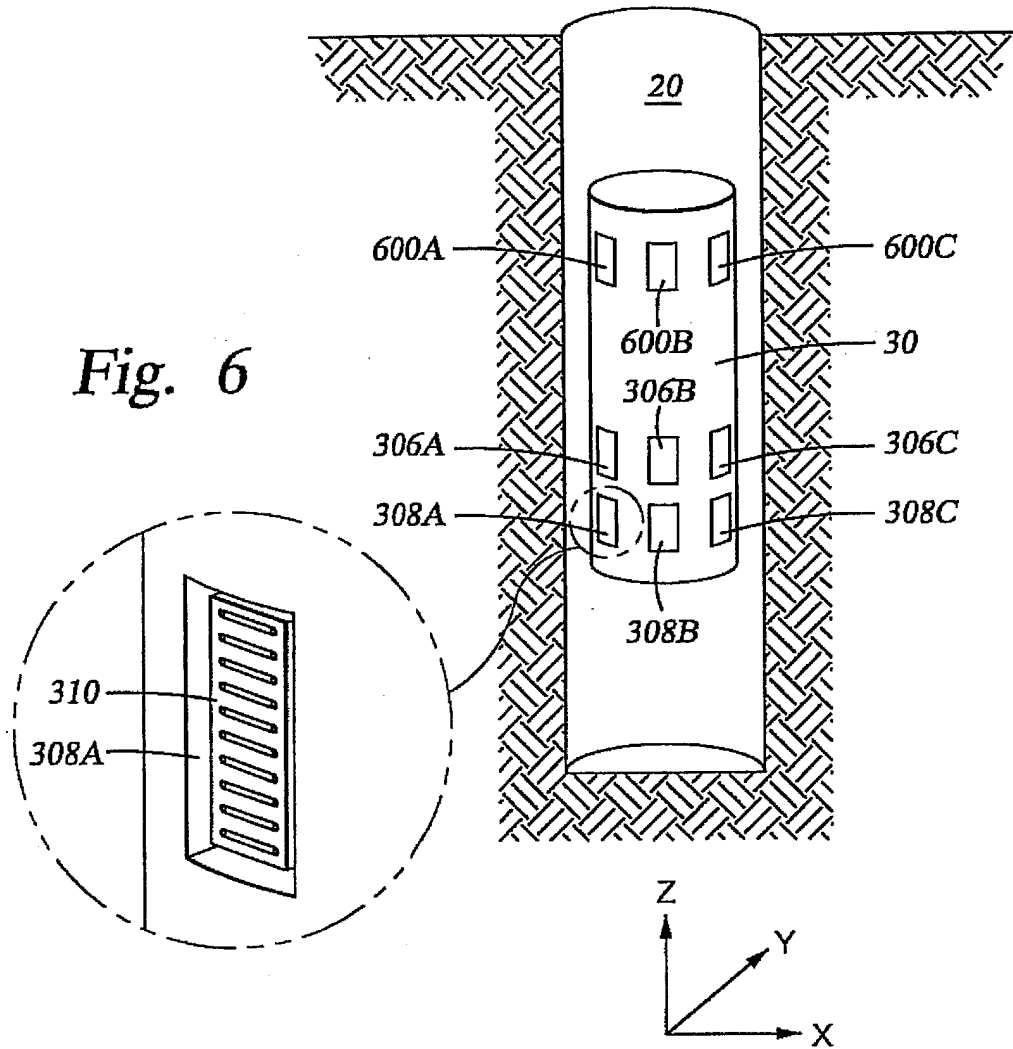


Fig. 5



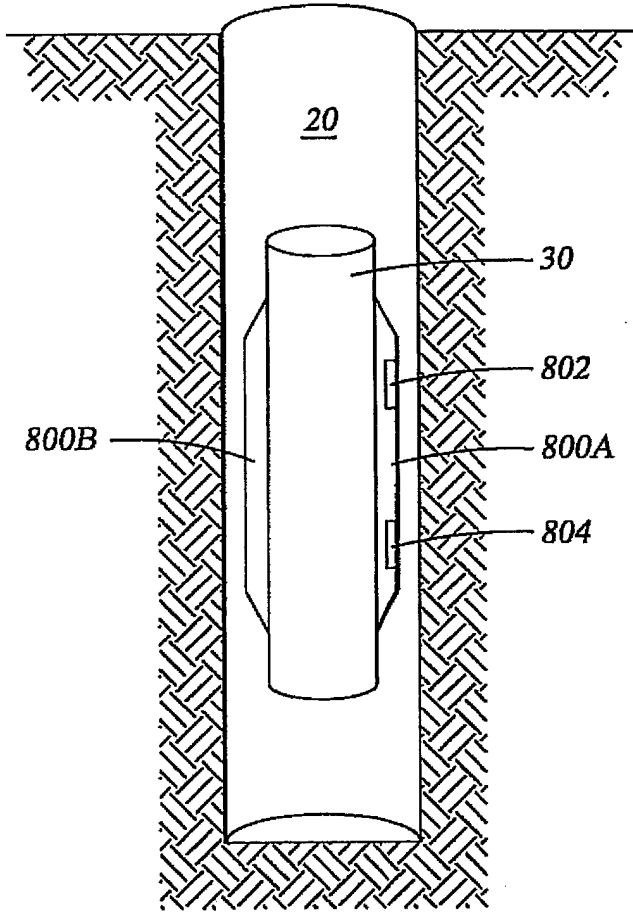


Fig. 8

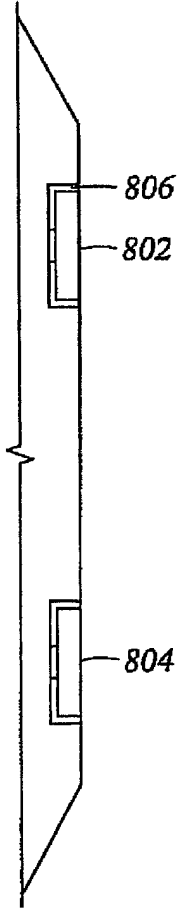


Fig. 9

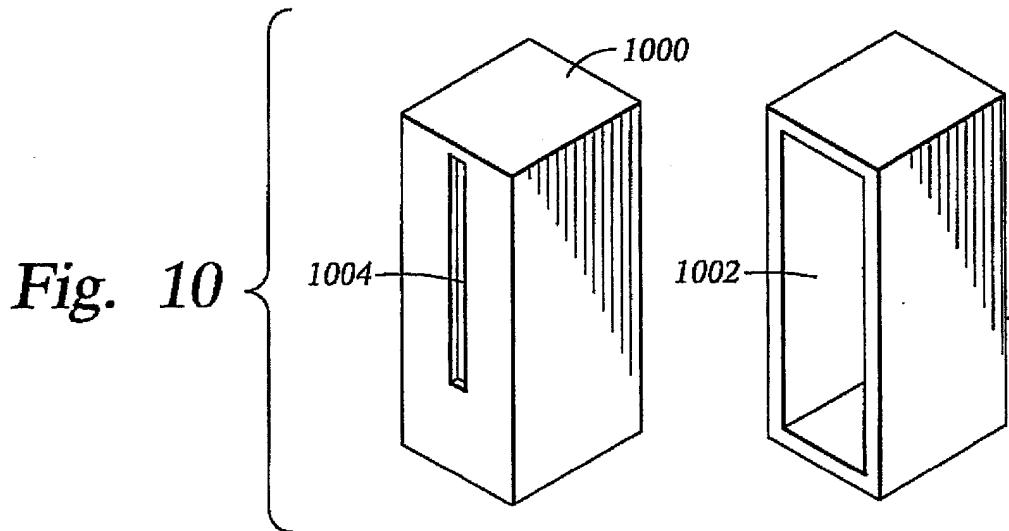
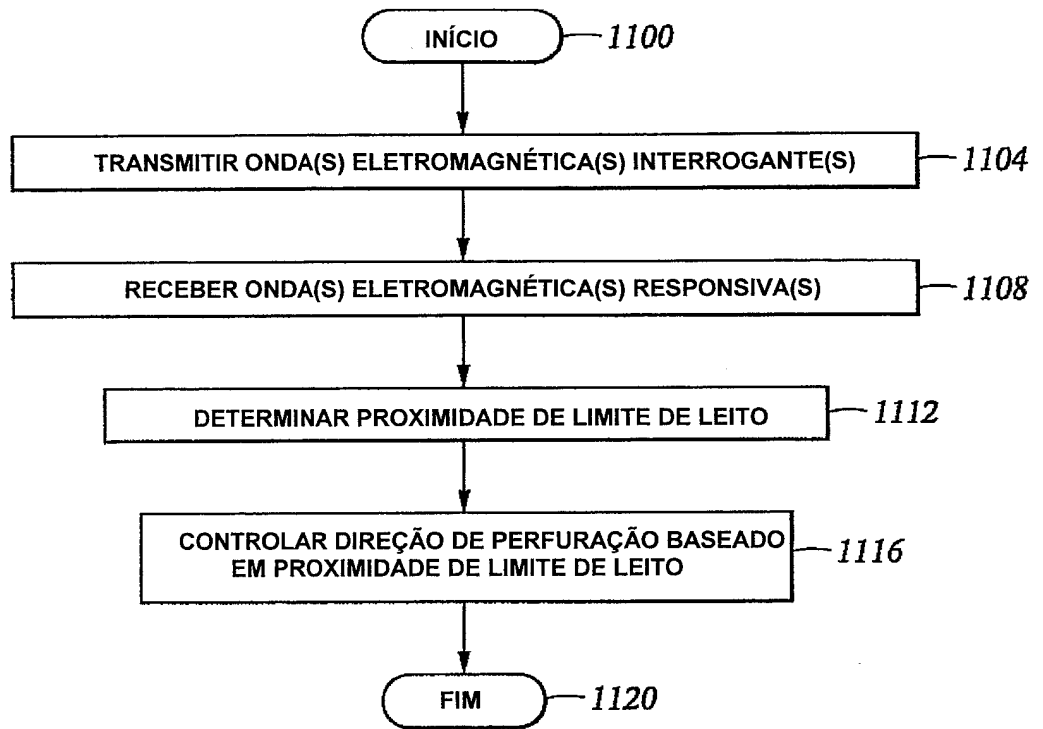


Fig. 10

*Fig. 11*